



IRRIGAÇÃO DO FEIJOEIRO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO

José Aloísio Alves Moreira, Luís Fernando Stone,
Silvando Carlos da Silva e Pedro Marques da Silveira

Embrapa Arroz e Feijão
Santo Antônio de Goiás, GO
1999

Embrapa Arroz e Feijão. Circular Técnica, 33.

Comitê de Publicações

Carlos A. Rava (Presidente)

Alberto Baêta dos Santos

Homero Aidar

Luiz Roberto Rocha da Silva (Secretário)

Supervisão Editorial

Marina Biava

Digitação/Diagramação

Fabiano Severino

Programação Visual

Sebastião José de Araújo

Normalização Bibliográfica/Catálogo na Fonte

Ana Lúcia Delalibera de Faria

Tiragem: 1.000 exemplares.

MOREIRA, J.A.A.; STONE, L.F.; SILVA, S.C. da; SILVEIRA, P.M.
da. **Irrigação do feijoeiro no sistema plantio direto**. Santo
Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 31p.
(Embrapa Arroz e Feijão. Circular Técnica, 33).

ISSN 1678-9636

1. Feijão – Irrigação. 2. Plantio Direto – Irrigação. 3.
Conservação da Água. 4. Conservação do Solo. I. STONE, L.F.,
colab. II. SILVA, S.C. da, colab. III. SILVEIRA, P.M. da, colab. IV.
Embrapa Arroz e Feijão (Santo Antônio de Goiás, GO). V. Título.
VI. Série.

CDD 635.652 - 21.ed.

© Embrapa, 1999.

APRESENTAÇÃO

Atualmente, extensas áreas são cultivadas com o feijoeiro no sistema de plantio direto, utilizando a irrigação por aspersão, via pivô central. Este tipo de exploração, com suas características peculiares, é uma atividade de altos custos financeiros, principalmente pelos investimentos iniciais necessários para a aquisição do pivô central e de máquinas agrícolas próprias ao plantio direto.

Além dos aspectos diretos relacionados com o sistema de produção do feijoeiro, também se discute freqüentemente, de maneira global, o papel da agricultura sustentável; um conjunto de práticas que envolvem técnicas de manejo de solo e água e de culturas cujo princípio básico de exploração agrícola é conservacionista. A adoção de técnicas de conservação objetiva a preservação do potencial produtivo do solo e culturas, para manter a produtividade por um longo período de tempo.

Por isso, é imperativo que seja disponibilizado aos produtores um suporte tecnológico adequado aos investimentos.

Esta circular técnica tem como objetivo divulgar, do ponto de vista de conservação de água e solo, informações necessárias ao manejo correto da irrigação do feijoeiro no sistema de plantio direto.

Pedro Antonio Arraes Pereira
Chefe da Embrapa Arroz e Feijão

VERSO DA PÁGINA DA APRESENTAÇÃO
(EM BRANCO)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	RETENÇÃO DA ÁGUA DO SOLO	8
3	TENSÃO DA ÁGUA DO SOLO	12
4	COEFICIENTE DE CULTURA	13
5	MANEJO DA IRRIGAÇÃO	18
	5.1 Tensiômetro e Curva de Retenção da Água do Solo	19
	5.2 Tensiômetro e Tanque USWB Classe A	24
	5.3 Tanque USWB Classe A e Curva de Retenção da Água do Solo	24
	5.4 Exemplos de Cálculo	25
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

VERSO DA PÁGINA DO SUMÁRIO
(EM BRANCO)

IRRIGAÇÃO DO FEIJOEIRO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO

José Aloísio Alves Moreira¹, Luís Fernando Stone¹,
Silvando Carlos da Silva² e Pedro Marques da Silveira¹

1 INTRODUÇÃO

A semeadura direta do feijoeiro irrigado por aspersão vem tendo aceitação cada vez maior na região do Cerrado. É uma alternativa de manejo correto e sustentável de sistemas agrícolas intensivos.

O solo no sistema plantio direto (SPD) geralmente apresenta maiores valores de densidade e microporosidade e menores valores de porosidade total e macroporosidade, nas camadas superficiais do perfil, quando comparado a outros sistemas de preparo (Vieira, 1981; Vieira & Muzilli, 1984; Corrêa, 1985, Stone & Moreira, s.d.). À primeira vista, este comportamento não é favorável para permitir altos índices de infiltração; contudo, no SPD, o solo encontra-se protegido pela cobertura morta, o que aumenta a rugosidade da superfície. Assim, aliando-se o efeito da cobertura ao da maior estabilidade estrutural, a infiltração de água no solo, sob plantio direto, tem sido mais elevada que em outros sistemas de preparo, ocasionando menor perda de água por escoamento superficial (Roth & Vieira, 1983).

Outra característica hídrica importante do solo sob plantio direto refere-se à capacidade de armazenamento de água. Nas tensões matriciais mais baixas, a distribuição do tamanho dos poros é altamente correlacionada com o armazenamento de água no solo. Desta maneira, os sistemas de preparo que provocam maior

¹ Pesquisador, Dr., Embrapa Arroz e Feijão, Caixa Postal 179, 75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO.

² Pesquisador, M.Sc., Embrapa Arroz e Feijão.

revolvimento do solo e, portanto, aumentam o seu volume, armazenam menos água na camada revolvida, em comparação à outra camada idêntica sem revolvimento (Vieira, 1984). Aliado ao aspecto armazenamento, fatores como temperatura e cobertura superficial têm garantido, em muitas situações, maiores conteúdos de água para as plantas em perfis de solos com menor revolvimento (Lal, 1974; Vieira, 1981; Sidiras et al., 1983; Salton & Mielniczuk, 1995; Stone & Silveira, 1999).

Pode-se deduzir, portanto, que o manejo da irrigação no SPD é diferente daquele praticado no sistema de preparo convencional do solo, quanto à lâmina de irrigação e ao turno de rega.

2 RETENÇÃO DA ÁGUA DO SOLO

A forma da curva característica de retenção da água do solo é afetada pela estrutura do solo (Hillel, 1970). Nos primeiros anos de implantação do SPD, o solo geralmente apresenta maior compactação na camada de 0-20 cm de profundidade, devido a sua maior densidade e menor porosidade total e macroporosidade, quando comparado a outros sistemas de preparo do solo. Quanto mais compactado o solo, tanto menor será o volume do conjunto de poros existentes entre os agregados. Isto significa que o teor de água de saturação bem como a redução inicial do conteúdo de água, como consequência da aplicação da tensão, são diminuídos. Por outro lado, em solos compactados, é maior o volume dos poros de tamanho intermediário, uma vez que certo número de poros originalmente grandes podem ter sido comprimidos e reduzidos em tamanho pela compactação, ao passo que os poros internos nos agregados, os microporos, permanecem inatingidos. Isto explica o fato de solos compactados e não-compactados poderem apresentar curvas quase idênticas, sob condições de alta tensão (Figura 1).

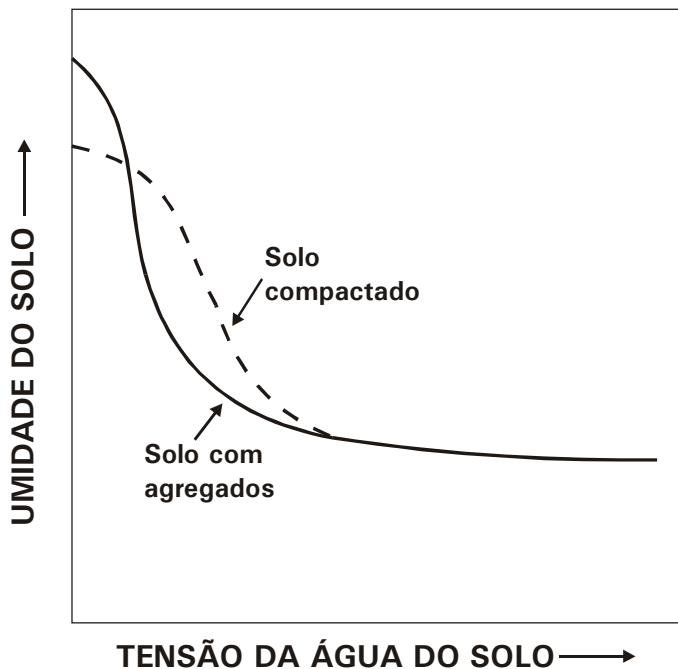


FIG 1 Curvas de retenção de água de um solo compactado e de um outro com agregados. Adaptado de Hillel (1970).

Com o passar do tempo, entretanto, a densidade do solo sob plantio direto pode vir a diminuir, devido, em parte, ao aumento do conteúdo de matéria orgânica na camada superficial, que favorece a melhoria da estrutura do solo (Fernandes et al., 1983; Reeves, 1995), e pode modificar a capacidade de retenção da água do solo.

Urchei (1996) verificou que, sob SPD, há maior retenção de água na camada do solo de 0-10 cm de profundidade (Figura 2a) do que no preparo convencional. Nas camadas de 11-20 cm e 21-30 cm de profundidade, as curvas de retenção de água tiveram praticamente o mesmo comportamento nos dois sistemas de preparo do solo (Figuras 2b e 2c).

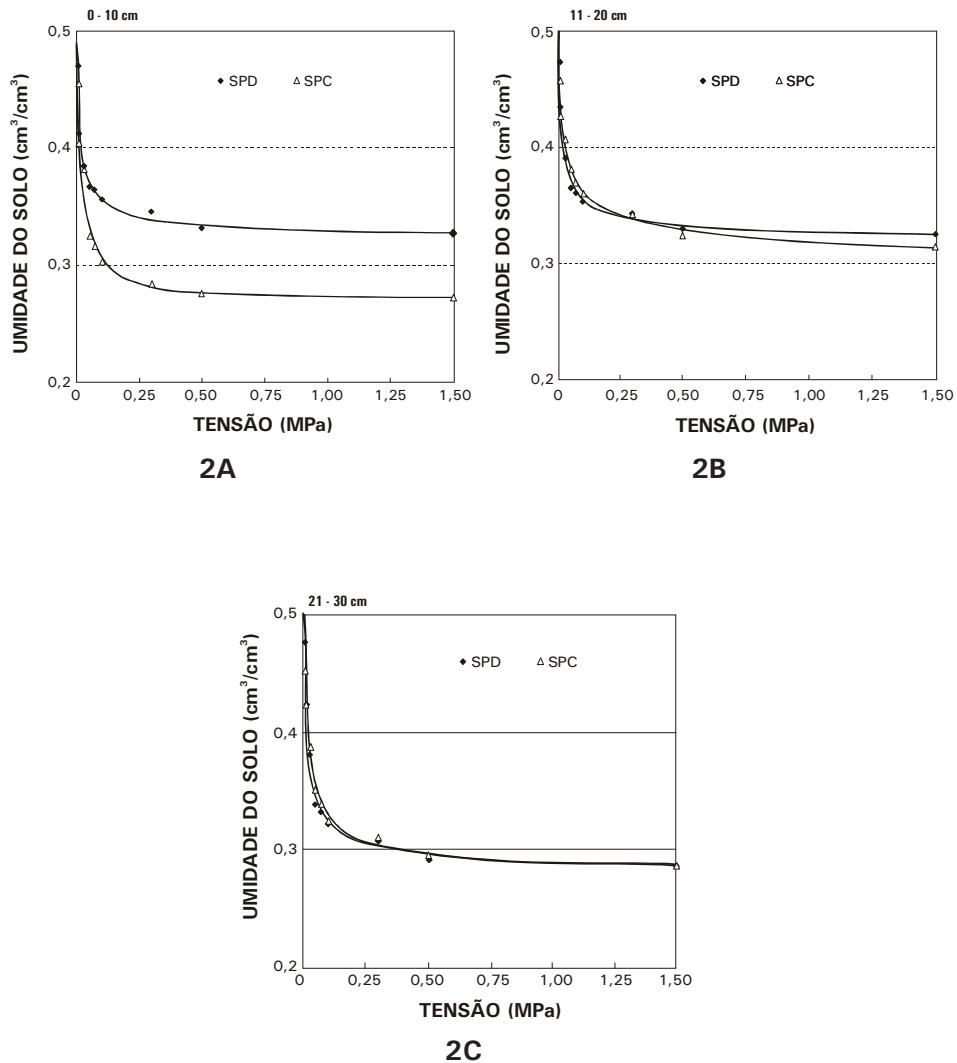
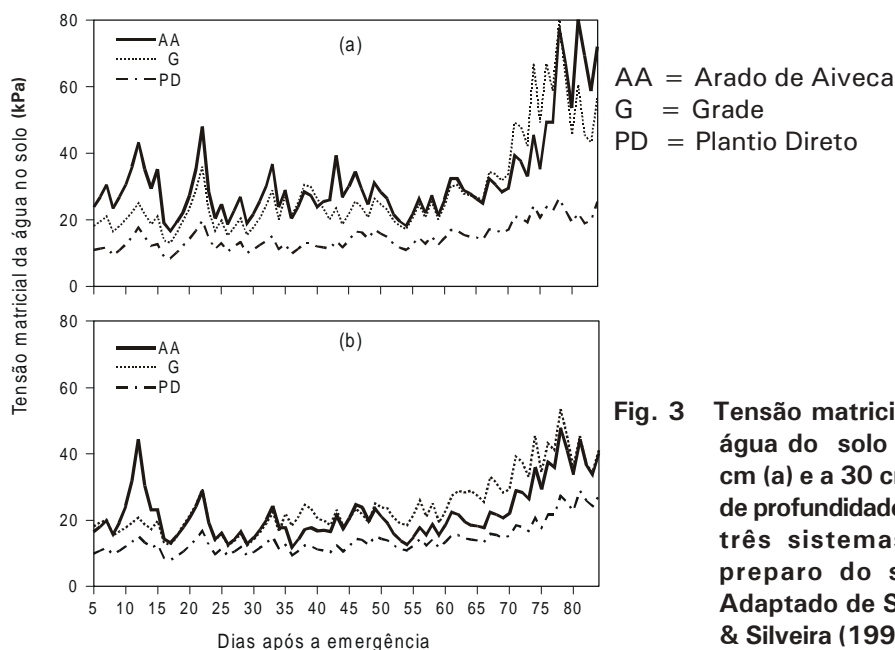


FIG. 2 Curvas de retenção de água de um Latossolo Vermelho-Escuro, nas camadas de 0-10 cm (2A), 11-20 cm (2B) e 21-30 cm (2C), sob sistema plantio direto (SPD) e sistema de preparo convencional (SPC). Adaptado de Urchei (1996).

Vários trabalhos têm mostrado que, sob SPD ou em sistemas de preparo reduzido, ocorre maior retenção de água pelo solo, principalmente em baixas tensões (Sidiras et al., 1984; Farias et al., 1985; Castro et al., 1987; Moreira et al., 1995). Sidiras et al. (1984) e Farias et al. (1985) atribuíram a maior retenção de água sob SPD às alterações sofridas na porosidade e ao maior conteúdo de matéria orgânica enquanto Derpsch et al. (1991) e Moreira et al. (1995) a maior quantidade de microporos encontrados no SPD. Isso implica que, em condições idênticas de irrigação, neste sistema poderá haver mais água disponível para as plantas e menor variação no seu conteúdo que em sistemas de preparo que revolvem o solo. De fato, Stone & Silveira (1999), verificaram que a tensão matricial da água no solo foi menor e menos variável ao longo do ciclo do feijoeiro em SPD, em comparação aos preparos com grade aradora e com arado de aiveca (Figura 3).



3 TENSÃO DA ÁGUA DO SOLO

Bons rendimentos de grãos têm sido obtidos quando são mantidas baixas tensões de água no solo. Para tanto, baseando-se na cultura do feijoeiro, são necessárias irrigações freqüentes, as quais não são recomendadas porque aumentam os custos de produção e as perdas de água por evaporação, além de favorecerem a ocorrência de doenças. Desta maneira, deve-se adequar o manejo da irrigação para se alcançar a produtividade ótima econômica, que é, freqüentemente, menor que a produtividade máxima potencial.

Moreira (1999) verificou que a produtividade máxima do feijoeiro no SPD ocorreu quando as irrigações foram realizadas com tensão de água do solo em torno de 16,2 kPa (Figura 4). Admitindo-se uma redução na produtividade de 10%, o autor recomenda iniciar a irrigação quando a tensão matricial da água do solo se situar entre 20 kPa e 35 kPa, o que aumenta o intervalo entre irrigações, com a conseqüente redução nos custos de operação do sistema de irrigação. Este valor está na faixa de tensão da água do solo recomendada por Silveira & Stone (1994) para reinício da irrigação do feijoeiro, em condições de preparo convencional.

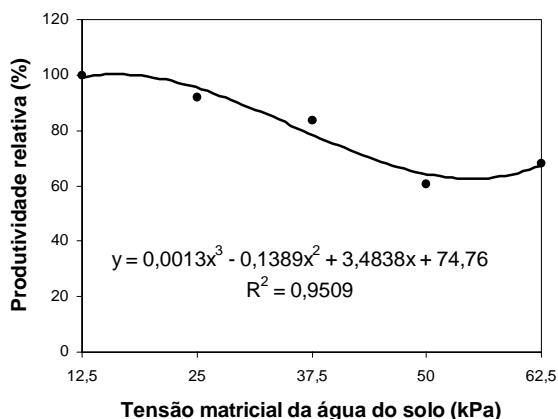


FIG. 4 Produtividade relativa do feijoeiro, no sistema plantio direto, em função da tensão matricial da água do solo. Adaptado de Moreira (1999).

4 COEFICIENTE DE CULTURA

O coeficiente de cultura (K_c) é a relação entre a evapotranspiração máxima (ET_m) e a evapotranspiração de referência (ET_o). ET_m é a perda de água para a atmosfera por evaporação e transpiração de uma cultura, em condições ótimas de população de plantas, fertilidade e disponibilidade de água no solo, com determinada bordadura e condições atmosféricas típicas, em qualquer estágio de desenvolvimento. ET_o é a evaporação ocorrente em uma superfície vegetada com grama batatais (*Paspalum notatum* Flüggé), bem provida de água, em fase de desenvolvimento ativo e com bordadura adequada.

A ET_o pode ser estimada por meio de fórmulas empíricas ou por meio de tanques evaporimétricos, dos quais o mais usado é o tanque USWB Classe A. Este tanque é circular, de aço galvanizado, chapa 22, ou de metal monel 0,8 mm, com 121 cm de diâmetro interno e 25,4 cm de profundidade. Deve ser instalado sobre estrado de madeira de 15 cm de altura. O nível inicial da água deve ficar 5 cm abaixo da borda superior. Não se deve permitir variação do nível da água maior que 2,5 cm. A água deve ser renovada regularmente para mantê-la limpa. A evaporação é medida com um micrômetro de gancho, colocado sobre um poço tranquilizador, ou por régua graduada, colocada de forma inclinada, ou, ainda, com uma mangueira transparente, conectada à parede lateral do tanque. Um pluviômetro deve ser instalado próximo ao tanque, porque as chuvas também são consideradas no controle da irrigação. Quando estas ocorrerem, se o tanque estiver com o nível acima do normal, deve-se esvaziá-lo até que o nível da água volte ao normal.

Quando o tanque Classe A é usado, a evaporação do tanque (ECA) é transformada em ET_o , por meio do coeficiente do tanque (K_p), que leva em conta as condições meteorológicas reinantes e o meio circundante ao tanque (Tabela 1). Assim:

$$ET_o = ECA \times K_p \dots\dots\dots (1)$$

TABELA 1 Valores do coeficiente de tanque.

Vento (m/s)	Posição do tanque R* (m)	Tanque circundado por grama			Tanque circundado por solo nu		
		Umidade relativa média			Umidade relativa média		
		Baixa	Média	Alta	Baixa	Média	Alta
		< 40%	40-70%	> 70%	< 40%	40-70%	> 70%
Fraco < 2	0	0,55	0,65	0,75	0,70	0,80	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	0,60	0,70	0,80
	100	0,70	0,80	0,85	0,55	0,65	0,75
	1.000	0,75	0,85	0,85	0,50	0,60	0,70
Moderado 2-5	0	0,50	0,60	0,65	0,65	0,75	0,80
	10	0,60	0,70	0,75	0,55	0,65	0,70
	100	0,65	0,75	0,80	0,50	0,60	0,65
	1.000	0,70	0,80	0,80	0,45	0,55	0,60
Forte 5-8	0	0,45	0,50	0,60	0,60	0,65	0,70
	10	0,55	0,60	0,65	0,50	0,55	0,75
	100	0,60	0,65	0,75	0,45	0,50	0,60
	1.000	0,65	0,70	0,75	0,40	0,45	0,55
Muito Forte > 8	0	0,40	0,45	0,50	0,50	0,60	0,65
	10	0,45	0,55	0,60	0,45	0,50	0,55
	100	0,50	0,60	0,65	0,40	0,45	0,50
	1.000	0,55	0,60	0,65	0,35	0,40	0,45

* Por R, entende-se a menor distância do centro do tanque ao limite da bordadura.

Fonte: Doorenbos & Kassam (1994).

Nota: Para extensas áreas de solo nu, reduzir os valores de Kp de 20%, em condições de alta temperatura e vento forte, e de 10% a 5%, em condições de temperatura, vento e umidade moderados.

Conhecida a ETo, a ETm pode ser calculada por:

$$ETm = ETo \times Kc \dots\dots\dots (2)$$

Silva & Stone (s.d.) determinaram o coeficiente de cultura para o feijoeiro no SPD (Tabela 2), verificando que o valor mais elevado, 1,06, ocorreu dos 45 aos 54 dias após a emergência. Ao comparar este valor com o valor máximo de Kc obtido por Steinmetz (1984), no sistema de preparo convencional, que foi igual a 1,28, observa-se que o SPD propiciou economia de água de cerca de 20%.

TABELA 2 Coeficientes de cultura do feijoeiro, cultivar Aporé, no sistema plantio direto.

Dias após a emergência	Coeficiente de cultura
0-14	0,49
15-24	0,69
25-34	0,77
35-44	0,90
45-54	1,06
55-64	0,89
65-74	0,74
75-84	0,48
85-94	0,27

Fonte: Silva & Stone (s.d.).

A maior eficiência do uso de água proporcionada pelo SPD é devida a presença de uma adequada cobertura morta, ao reduzir as perdas por evaporação. Stone & Moreira (1998) verificaram que o SPD com cobertura morta foi mais eficiente no uso da água que o sistema de preparo do solo com grade aradora. Com a cultivar Safira, de plantas eretas, a produtividade obtida em SPD com cobertura morta, com 240 mm de água, foi semelhante à obtida com 400 mm no preparo com grade (Figura 5), o que representa uma economia de água de 40%.

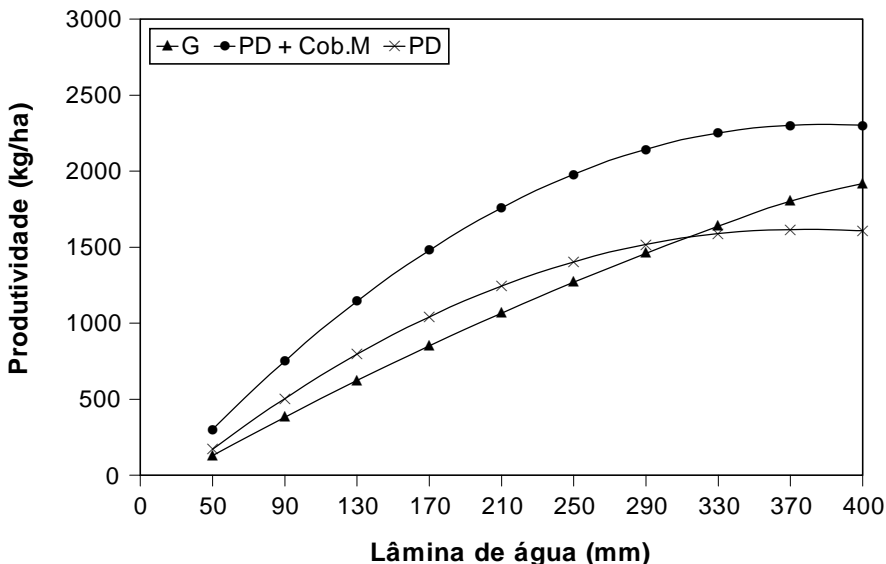


FIG. 5 Produtividade da cultivar Safira de feijão, em função da lâmina total de água aplicada, em três sistemas de preparo do solo: grade (G), plantio direto (PD) e plantio direto mais cobertura morta (PD + Cob. Mort). Adaptado de Stone & Moreira (1998).

Com a cultivar Aporé, por ter plantas prostradas, a economia foi menos expressiva. A máxima produtividade desta cultivar no SPD com cobertura morta foi obtida com 343 mm de água, correspondente à obtida com 400 mm no preparo com grade (Figura 6), o que representa uma economia de 14%.

A palhada atua na primeira fase do processo de evaporação da água do solo, reduzindo a taxa de evaporação devido à reflexão de energia radiante. A taxa de redução depende da magnitude da cobertura morta e da arquitetura e desenvolvimento do dossel da planta cultivada. Assim, quando a palhada é pouca ou é decomposta rapidamente, e a cultura cobre rapidamente o solo, esse benefício não é tão expressivo. Esta é a razão da diferença de comportamento, neste experimento, entre o SPD e o SPD mais cobertura morta, em

relação à eficiência do uso da água. Devido à rápida decomposição dos resíduos com baixa relação C/N, em condições de clima tropical, diminuindo seu volume, reduzindo a porcentagem de cobertura do solo e aumentando, em consequência, as perdas de água por evaporação e pelo escoamento superficial, a eficiência do uso da água é menor no SPD à medida que a cobertura morta for menor e, ou, não perdurar até o final do ciclo do feijoeiro.

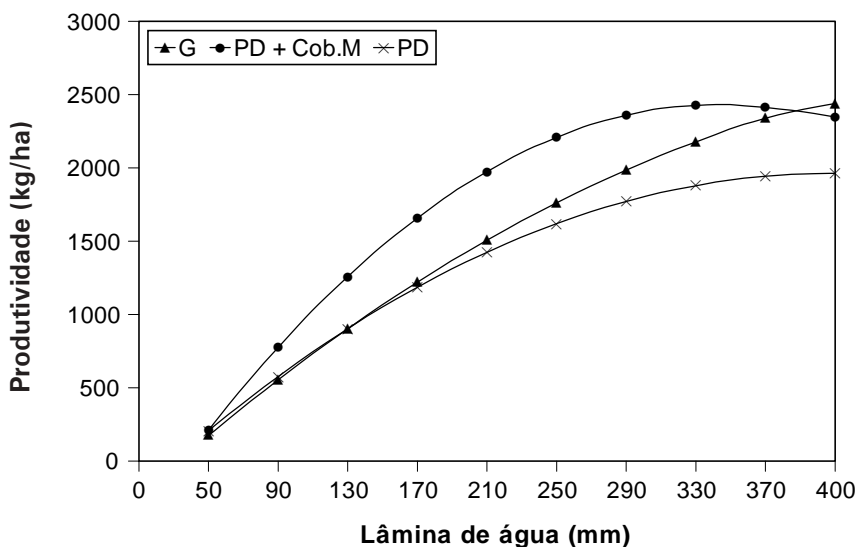


FIG. 6 Produtividade da cultivar Aporé de feijão, em função da lâmina total de água aplicada, em três sistemas de preparo do solo: grade (G), plantio direto (PD) e plantio direto mais cobertura morta (PD + Cob. Mort). Adaptado de Stone & Moreira (1998).

De acordo com Moreira et al. (1999), a economia de água começa a ser importante a partir de 50% de cobertura do solo pela palhada, implicando em menor número de irrigações do feijoeiro (Figura 7).

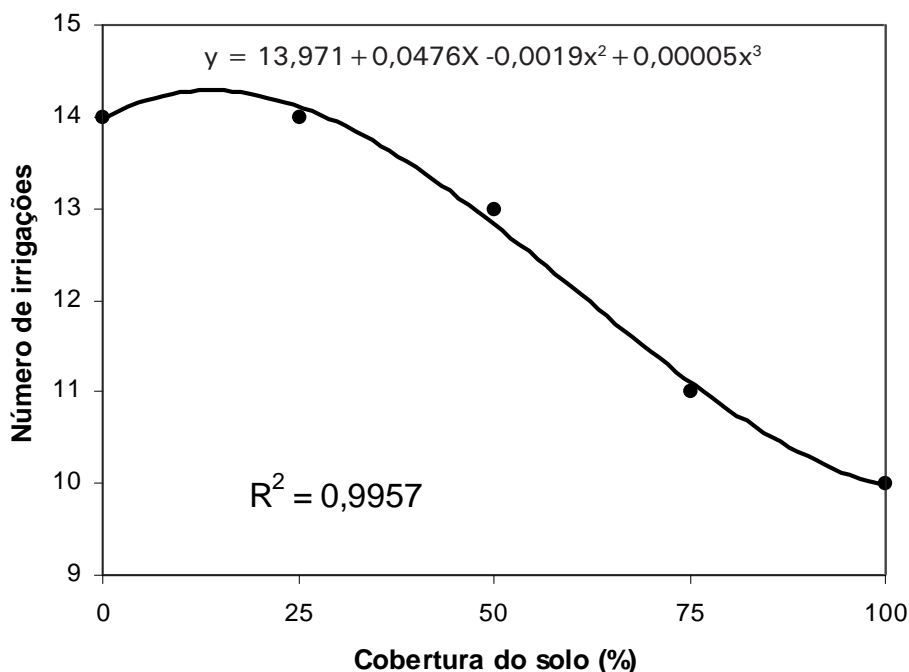


FIG. 7 Número de irrigações efetuadas durante o ciclo do feijoeiro, em função da porcentagem de cobertura do solo pela palhada. Adaptado de Moreira et al. (1999).

5 MANEJO DA IRRIGAÇÃO

Para o manejo da irrigação do feijoeiro, geralmente é utilizado um dos três métodos apresentados a seguir. Eles combinam o uso de tensiômetro com curva de retenção da água do solo ou tanque USWB Classe A, ou o tanque com curva de retenção da água do solo. Chieppe Júnior (1998), ao comparar os três métodos nas condições de Senador Canedo, GO, observou que não diferiram significativamente quanto à eficiência do uso da água e à produtividade do feijoeiro.

5.1 Tensiômetro e Curva de Retenção da Água do Solo

O tensiômetro é constituído de um tubo plástico, de comprimento variável, com uma cápsula de porcelana porosa na extremidade inferior. É fechado hermeticamente na extremidade superior, onde se encontra um manômetro de mercúrio ou um vacuômetro metálico, como elemento indicador do vácuo existente dentro do aparelho, quando em operação. Ele mede diretamente a tensão da água e, indiretamente, a porcentagem de água do solo (Silveira & Stone, 1994).

O vacuômetro metálico é calibrado, geralmente, em centibar ou em milímetro de mercúrio (mm Hg), mas os valores de tensão podem ser dados também em centímetro de água, bar e Pascal (Pa), de acordo com as relações:

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mm Hg} = 1033 \text{ cm H}_2\text{O} = 1,013 \text{ bar} = 101,3 \text{ kPa}$$

A tensão da água do solo (T_s), expressa em bar, é calculada pelas equações apresentadas a seguir.

(a) Tensiômetro com vacuômetro

$$T_s = 0,01 (L - 0,098 h) \dots\dots\dots (3)$$

onde: L = leitura do vacuômetro, em centibar; h = altura da coluna de água dentro do tubo, em cm.

(b) Tensiômetro com manômetro de mercúrio

$$T_s = (12,6h - h_1 - h_2)/1020 \dots\dots\dots (4)$$

onde: h = altura da coluna de mercúrio, em cm; h_1 = altura do nível de mercúrio no recipiente em relação ao solo, em cm; h_2 = profundidade de instalação do tensiômetro, em cm.

O tensiômetro deve ser instalado na lavoura de feijão após a emergência das plântulas e quando o solo já se encontra com umidade suficiente para o funcionamento do aparelho.

Com o auxílio de um cano de ferro ou de um trado do mesmo diâmetro do tubo do tensiômetro, faz-se um buraco até a profundidade desejada. Em seguida, introduz-se o tensiômetro, tendo o cuidado para que haja bom contato entre a cápsula e o solo. A

adição de um pouco de terra solta e água dentro do buraco ajuda a melhorar este contato. Após atingir a profundidade de instalação, coloca-se um pouco de terra ao redor do tubo, comprimindo-se levemente, para evitar que a água de irrigação alcance a cápsula pelo espaço deixado entre o tubo e o solo.

O tensiômetro deve ser instalado entre as fileiras de plantas de feijoeiro e em duas profundidades, a 15 cm e a 30 cm, lado a lado, cujo conjunto forma uma bateria. A profundidade é medida a partir da metade da cápsula. A leitura do tensiômetro de 15 cm representa a tensão média da água de um perfil de solo de 0-30 cm de espessura, o qual engloba a quase totalidade das raízes do feijoeiro. Este tensiômetro indica o momento da irrigação. O tensiômetro instalado a 30 cm é usado para verificar se a irrigação está sendo bem feita, para que não haja excesso ou falta de água. Ao lado da bateria dos tensiômetros deve ser instalado um pluviômetro, a cerca de 1 m de altura, que servirá para coleta da água de irrigação do pivô central ou da chuva e, também, como referência para localização dos tensiômetros no campo.

No sistema de irrigação por pivô central, o mais utilizado na cultura do feijoeiro no Cerrado, devem ser instaladas três baterias de tensiômetros na área irrigada. Devem ser posicionadas, respectivamente, a uma distância equivalente a $4/10$, $7/10$ e $9/10$ do raio do pivô, em linha reta, a partir da base. Nesta localização, cada bateria representa, aproximadamente, 33,3% da área irrigada pelo pivô central (Silveira & Stone, 1994).

Deve-se ter cuidado e uma certa flexibilidade, permitindo-se pequenos deslocamentos, para que estes pontos sejam representativos da precipitação média e não pontos de precipitação máxima ou mínima. Para isto, é importante que seja calculada a precipitação média e traçados gráficos da precipitação coletada em milímetros em relação à distância ao centro do pivô (Figura 8). Neste exemplo verifica-se que é necessário deslocar as baterias de tensiômetros para que elas sejam instaladas em pontos em que a precipitação esteja próxima da média.

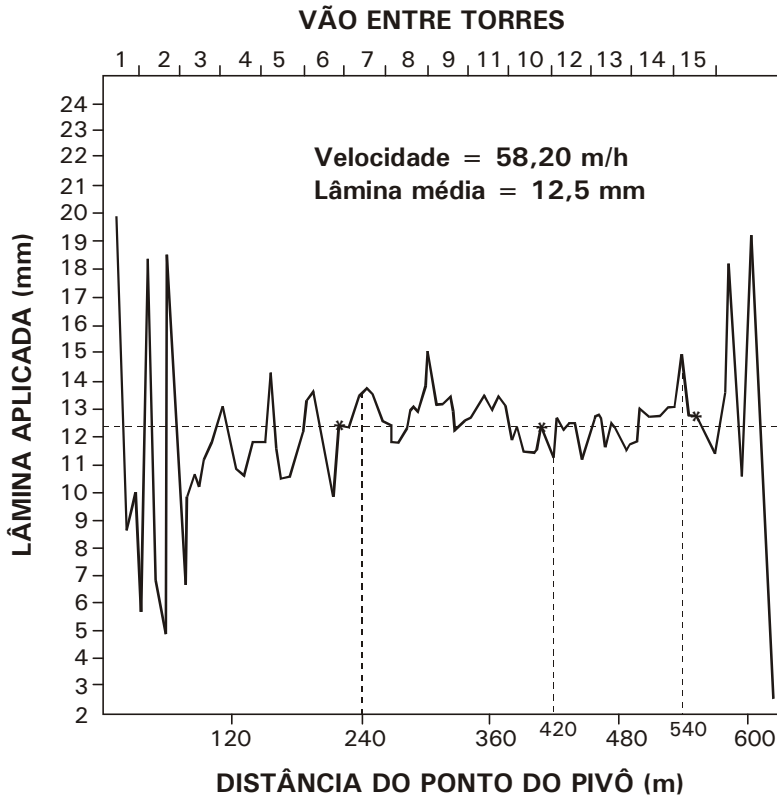


FIG. 8 Perfil da precipitação ao longo da linha lateral, para sistema operando com 40% da velocidade máxima, com CUC = 89,8% e CUD = 72,2%. Adaptado de Bridi (1984).

Para a coleta da precipitação em um pivô central devem-se utilizar recipientes coletores instalados em duas linhas radiais, com ângulo de 3° aproximadamente entre elas, conforme Projeto de Norma 12:02.08-005 da ABNT. Já Merrian & Keller (1979) e Silveira & Stone (1994) recomendam que os recipientes coletores sejam colocados em quatro raios do círculo irrigado, sendo dois no sentido da maior declividade do terreno e os outros dois, em nível. A altura

do bordo superior dos coletores (desde a superfície do terreno) deve ser aproximadamente a mesma e ficar cerca de 30 cm acima das plantas existentes na área do ensaio. Os coletores devem ser numerados, em ordem crescente, a partir do centro do pivô, e igualmente afastados entre si, de 3 m a 10 m, tomando-se o cuidado de evitar o caminho percorrido pelas rodas. O primeiro coletor deve ser colocado afastado do centro do pivô, a uma distância igual a metade do espaçamento estabelecido.

Como cada coletor representa uma área maior, à medida que se afasta do centro do pivô, os valores coletados devem ser ponderados. Para tanto, consideram-se, como peso, as frações de área representada por cada coletor (f_i).

$$f_i = 2\pi e^2 (i - 0,5) \dots\dots\dots (5)$$

onde: e = espaçamento entre coletores, em m; i = número de ordem do coletor.

Uma vez fixado o espaçamento entre os coletores, o termo $2\pi e^2$ é constante; portanto, na ponderação, considera-se $(i - 0,5)$.

A precipitação média ponderada (\bar{X}), em milímetros, é igual a:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n (i - 0,5) X_i / \sum_{i=1}^n (i - 0,5) \dots\dots\dots (6)$$

onde: X_i = precipitação observada no coletor de ordem i .

Para o cálculo, devem-se utilizar as médias aritméticas dos volumes captados nos coletores do mesmo número de posição.

Os volumes de água, coletados após a passagem do pivô pelo local do ensaio, devem ser medidos com a maior rapidez possível para minimizar as perdas por evaporação. Eles são medidos com uma proveta graduada e, posteriormente, convertidos em altura de água (lâmina), pela consideração da área da boca do coletor. As perdas por evaporação devem ser medidas durante o ensaio. Para tanto, é recomendável fazer, no mínimo, duas determinações da evaporação, uma na metade e outra no final do ensaio, utilizando-se dois ou mais coletores, que contenham uma lâmina de água aproximadamente igual à que se espera seja aplicada durante o ensaio. Caso o teste seja demorado e a demanda evaporativa da

atmosfera seja elevada, o volume evaporado deve ser acrescido às leituras dos coletores, proporcionalmente ao tempo despendido para fazê-las.

Uma alternativa para evitar que o ensaio se estenda por muito tempo é deixar de instalar os coletores situados até, aproximadamente, um oitavo do raio do círculo irrigado a partir do ponto do pivô. Neste caso, os números de posições que corresponderiam aos coletores não instalados devem ser contados quando forem determinados os números de posição dos coletores.

Com a precipitação média ponderada e as lâminas coletadas é possível calcular o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), segundo Heermann & Hein (1968), e o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), em porcentagem:

$$CUC = 100 [1 - (\sum_{i=1}^n (i - 0,5) |X_i - \bar{X}|) / (\sum_{i=1}^n (i - 0,5) X_i)] \dots (7)$$

$$CUD = 100 [\sum_{i=p}^q (i - 0,5) X_i / \bar{X} \sum_{i=p}^q (i - 0,5)] \dots (8)$$

onde: p = primeiro elemento da série crescente de lâminas coletadas;
q = elemento da série crescente de lâminas coletadas que torna $\sum_{i=p}^q (i - 0,5)$ aproximadamente igual a 25% da soma total dos números de ordem dos coletores $[(\sum_{i=1}^n (i - 0,5))]$. O CUC expressa quanto as precipitações coletadas se aproximam da precipitação média. O CUD é uma medida da distribuição de água que utiliza a quarta parte da área irrigada total que recebe menos água como unidade de análise. Expressa quanto a precipitação média da área menos irrigada se aproxima da precipitação média total. Na determinação do CUD para pivô central, alguns autores, como Bernardo (1989) e Silveira & Stone (1994), têm considerado 25% dos coletores com menor precipitação. Isto não permite a interpretação anterior, pois pode não haver correspondência com 25% da área total.

De acordo com Merrian et al. (1973), em culturas de alto rendimento econômico, como o feijoeiro, com sistema radicular raso, o CUC deve estar acima de 88%, ou o CUD, acima de 80%.

A lâmina líquida de irrigação (LL), em mm, é o resultado da diferença entre a quantidade de água, em cm^3/cm^3 , retida na tensão equivalente à capacidade de campo (CC), 10 kPa para a maioria dos solos da região do Cerrado, e a retida na tensão recomendada para reinício da irrigação (MI), no caso, 20-35 kPa, multiplicado pela espessura da camada de solo considerada (PC), em mm. Para o feijoeiro irrigado por pivô central, PC normalmente é igual a 300 mm. Assim:

$$LL = (CC - MI) \times PC \dots\dots\dots (9)$$

As quantidades de água retidas nas tensões equivalentes à CC e à MI são obtidas por leitura direta na curva de retenção.

A lâmina bruta de irrigação (LB), em mm, é dada pela divisão da lâmina líquida pela eficiência de aplicação de água (Ea). No caso de pivô central, Ea pode ser considerada igual ao CUD (Keller, 1979). Assim:

$$LB = LL/Ea = LL/CUD \dots\dots\dots (10)$$

Verificando a tabela de lâmina de água de irrigação, fornecida pelo fabricante do pivô, aplicada conforme a velocidade de deslocamento do pivô, estimada pela regulagem do percentímetro, o irrigante seleciona a regulagem que fornece a lâmina bruta calculada.

5.2 Tensiômetro e Tanque USWB Classe A

Neste método, o tensiômetro instalado a 15 cm de profundidade indica o momento de irrigar, e a lâmina líquida de irrigação é igual a evapotranspiração máxima, calculada pelas equações 1 e 2, entre uma irrigação e outra. A lâmina bruta é calculada pela equação 10.

5.3 Tanque USWB Classe A e Curva de Retenção da Água do Solo

A lâmina líquida de irrigação, neste método, é fixada com base na diferença entre a quantidade de água na capacidade de campo e a quantidade de água existente na tensão recomendada

para irrigar o feijoeiro, multiplicada pela espessura da camada de solo considerada (equação 9). Estes valores são obtidos por meio da curva de retenção de água do solo. A irrigação é realizada toda vez que a evapotranspiração acumulada, calculada pelas equações 1 e 2, atingir o valor desta lâmina. A lâmina bruta é calculada pela equação 10.

5.4 Exemplos de Cálculo

5.4.1 Tensiômetro e curva de retenção da água do solo

Considerando a curva de retenção apresentada na Figura 9 como representativa de um perfil de 0-30 cm de profundidade de um solo sob SPD, observa-se que a quantidade de água na capacidade de campo, correspondente à tensão de 10 kPa, é igual a $0,28 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$. Já a quantidade de água equivalente à tensão recomendada para irrigar o feijoeiro, aqui estimada em 30 kPa, é igual a $0,23 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$. Assim, para irrigar o perfil de solo de 30 cm será necessário aplicar, pela equação 9, uma lâmina líquida de irrigação igual a:

$$LL = (0,28 - 0,23) \times 300 = 15 \text{ mm}$$

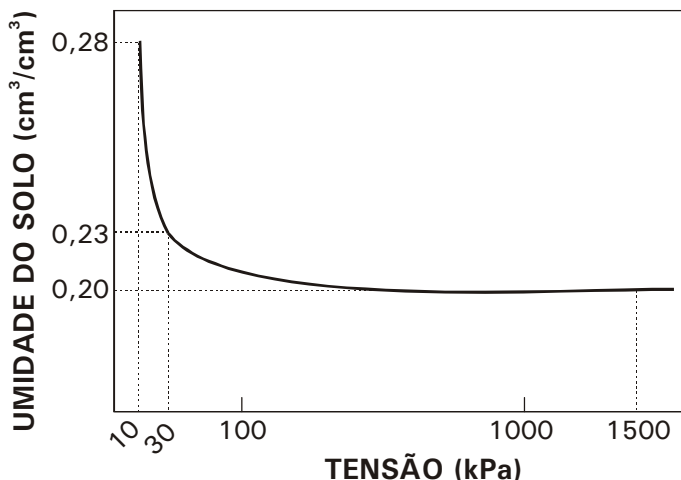


FIG. 9 Curva de retenção de água do solo. Adaptado de Silveira & Stone (1994).

Considerando a eficiência de aplicação de água igual a 0,83, a lâmina bruta de irrigação, pela equação 10, será igual a:

$$LB = 15/0,83 = 18 \text{ mm}$$

Logo, toda vez que a média dos tensiômetros instalados a 15 cm de profundidade atingir 30 kPa, o percentímetro do pivô central deve ser regulado para uma velocidade de deslocamento que permita o fornecimento da lâmina de 18 mm.

5.4.2 Tensiômetro e tanque USWB Classe A

Supondo que após quatro dias de uma irrigação, correspondente ao período compreendido entre 45 e 48 dias após a emergência do feijoeiro, a média dos tensiômetros instalados a 15 cm de profundidade atingiu 30 kPa, indicando que é o momento de irrigar, a lâmina líquida de irrigação a ser aplicada, calculada de acordo com as equações 1 e 2, é igual a 14,99 mm (Tabela 3). A lâmina bruta é calculada como explicado no item anterior.

5.4.3 Tanque USWB Classe A e curva de retenção da água do solo

A utilização deste método prevê uma lâmina líquida de irrigação igual a 15 mm, calculada pela equação 9, como indicado no item 5.4.1. A irrigação é realizada quando a evapotranspiração máxima acumulada, calculada conforme explicitado no item 5.4.2 pelas equações 1 e 2, atingir este valor. No exemplo, isto ocorreu quatro dias após a irrigação anterior. A lâmina bruta de irrigação é calculada como mencionado no item 5.4.1.

TABELA 3 Exemplo de cálculo da lâmina líquida de irrigação.

DAE ¹	ECA (mm)	V ² (m/s)	UR ³ (%)	Kp ⁴	ET _o (mm)	Kc	ET _m (mm)	ET _m ⁵ (mm)
45	5,7	3,0	32	0,60	3,42	1,06	3,62	3,62
46	5,8	4,0	35	0,60	3,48	1,06	3,69	7,31
47	5,6	1,8	38	0,65	3,64	1,06	3,86	11,17
48	6,0	3,5	36	0,60	3,60	1,06	3,82	14,99

¹ Dias após a emergência.

² Velocidade do vento.

³ Umidade relativa.

⁴ Considerando uma bordadura de 10 m de grama.

⁵ Evapotranspiração máxima acumulada.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 5.ed. Viçosa: UFV, 1989. 596p.
- BRIDI, S. **Análise de uniformidade de distribuição de água em sistema de irrigação por pivô central**. Viçosa: UFV, 1984. 87p. Tese Mestrado.
- CASTRO, O.M.; VIEIRA, S.R.; MARIA, I.C. Sistemas de preparo do solo e disponibilidade de água. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA, 1987, Campinas, SP. **Anais**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.27-51.
- CHIEPPE JÚNIOR, J.B. **Métodos de controle de irrigação na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob três tensões de água do solo**. Botucatu: UNESP, 1998. 112p.
- CORRÊA, J.C. Efeito de métodos de cultivo em algumas propriedades físicas de um Latossolo Amarelo muito argiloso do Estado do Amazonas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, n.11, p.1317-1322, 1985.
- DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N.; KOPKE, V. **Controle da erosão no Paraná, Brasil**: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Eschborn: GTZ, 1991. 272p.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 33).
- FARIAS, G.S.; CASSOL, E.A.; MIELNICZUK, J. Efeito de sistemas de cultivo sobre a porosidade e retenção de água em um solo Laterítico Bruno-Avermelhado distrófico (Paleudult). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, n.12, p.1389-1393, 1985.

- FERNANDES, B.; GALLOWAY, H.M.; BRONSON, R.D.; MANNERING, J.V. Efeito de três sistemas de preparo do solo na densidade aparente, na porosidade total e na distribuição dos poros, em dois solos (Typic Argiaquoll e Typic Hapludalf). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, n.3, p.329-333, 1983.
- HEERMANN, D.F.; HEIN, P.R. Performance characteristics of self-propelled center-pivot sprinkler irrigation system. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.11, n.1, p.11-15, 1968.
- HILLEL, D. **Solo e água: fenômenos e princípios físicos**. Porto Alegre: UFRGS, 1970. 231p.
- KELLER, J. Sprinkler irrigation. In: SOIL CONSERVATION SOCIETY (Washington, EUA). **National engineering handbook**. 2.ed. Washington, 1979. Cap.11.
- LAL, R. No-tillage effects on soil properties and maize (*Zea mays* L.) production in Western Nigeria. **Plant and Soil**, Amsterdam, v.40, p.321-331, 1974.
- MERRIAN, J.L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan: Utah State University, 1979. 271p.
- MERRIAN, J.L.; KELLER, J.; ALFARO, J. **Irrigation system evaluation and improvement**. Logan: Utah State University, 1973. 164p.
- MOREIRA, J.A.A. **Estudo da tensão da água do solo para as culturas do feijão, milho e trigo, cultivados em plantio direto, visando a irrigação por aspersão**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 6p. (Embrapa. Programa Recursos Naturais. Subprojeto 01094337-18). Projeto em andamento.
- MOREIRA, J.A.A.; SANTOS, A.B. dos; DINIZ, A.J. Relação massa/volume e retenção de água de um Latossolo Vermelho-Amarelo de Jussara, GO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa, MG. **Resumos**. Viçosa: SBCS/UFV, 1995. v.3, p.1746-1748.

- MORERIA, J.A.A.; STONE, L.F.; PEREIRA, A.L. **Manejo da irrigação do feijoeiro em plantio direto**: cobertura do solo. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 2p. (Embrapa Arroz e Feijão. Pesquisa em Foco, 26).
- REEVES, D.W. Soil management under no-tillage: soil physical aspects. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1., 1995, Passo Fundo, RS. **Resumos**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1995. p.127-130.
- ROTH, C.; VIEIRA, M.J. Infiltração de água no solo. **Plantio Direto**, Ponta Grossa, v.1, n.3, p.4, 1983.
- SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho-Escuro de Eldorado do Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.2, p.313-319, 1995.
- SIDIRAS, N.; DERPSCH, R.; MONDARDO, A. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo na variação da umidade e rendimento da soja, em Latossolo Roxo distrófico (Oxisol). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, n.1, p.103-106, 1983.
- SIDIRAS, N.; VIEIRA, S.R.; ROTH, C.H. Determinação de algumas características físicas de um Latossolo Roxo distrófico sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.8, n.3, p.265-268, 1984.
- SILVA, S.C. da; STONE, L.F. Coeficiente de cultura para o feijoeiro no Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria. (No prelo).
- SILVEIRA, P.M. da; STONE, L.F. **Manejo da irrigação do feijoeiro**: uso do tensiômetro e avaliação do desempenho do pivô central. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 46p. (EMBRAPA-CNPAF. Circular Técnica, 27).
- STEINMETZ, S. **Evapotranspiração máxima no cultivo do feijão de inverno**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 1984. 4p. (EMBRAPA-CNPAF. Pesquisa em Andamento, 47).

- STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. A irrigação no plantio direto. **Direto no Cerrado**, Brasília, v.3, n.8, p.5-6, 1998.
- STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. Efeitos de sistemas de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. (No prelo).
- STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. da. Efeitos do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.1, p.83-91, 1999.
- URCHEI, M.A. **Efeitos do plantio direto e do preparo convencional sobre alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso e no crescimento e produtividade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob irrigação**. Botucatu: UNESP, 1996. 150p. Tese Doutorado.
- VIEIRA, M.J. O preparo do solo e o comportamento da planta. **Plantio Direto**, Ponta Grossa, v.1, n.5, p.4-5, 1984.
- VIEIRA, M.J. Propriedades físicas do solo. In: IAPAR (Londrina, PR). **Plantio direto no Estado do Paraná**. Londrina, 1981. p.19-32. (IAPAR. Circular, 23).
- VIEIRA, M.J.; MUZILLI, O. Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, n.7, p.873-882, 1984.

